

Toddling 'long the river Meuse : integrated assessment and participatory agent-based modelling to support river management

Citation for published version (APA):

Valkering, P. (2009). Toddling 'long the river Meuse : integrated assessment and participatory agent-based modelling to support river management. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20091211pv>

Document status and date:

Published: 01/01/2009

DOI:

[10.26481/dis.20091211pv](https://doi.org/10.26481/dis.20091211pv)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

To obtain a better understanding of the river system as a whole, a balanced representation of river dynamics and stakeholder decision-making is required. To achieve such a representation, participatory Agent-Based modelling within the context of Integrated Assessment modelling is adopted as an innovative core approach. The approach is applied to the case study of the Maaswerken project, which is a typical example of a complex sustainability planning problem characterized by high stakes and salient uncertainties. Representing this case entailed the development of an integrated River Model (iRM) to calculate the impacts of different river management strategies, which was coupled to an Agent-Based Model (ABM) representing stakeholder decision-making. The specific modelling objectives were to assess the course of the Maaswerken planning process in retrospect over the medium term, to reflect upon plausible future developments for the management of the Meuse in Limburg on the long term, and to provide a tool to support stakeholder dialogue on sustainable river management. In light of the latter aim, the coupled iRM-ABM model was called Toddler model: **T**ool to **O**pen-up **D**ialogue and **D**ebate for **L**ong-term **E**ffective **R**iver management.

Chapter 2 describes the methodological building blocks upon which this study is based, and develops a conceptual framework underlying the modelling work. It gives a brief account of the field of Integrated Assessment modelling (IAM), emphasising the current methodological challenge to improve the representation of stakeholder behaviour in IAMs. It discusses ABM as a promising approach with which this challenge can be addressed. Building upon insights from the IAM and ABM fields, a conceptual framework is developed for representing the complex sustainability planning problem of the Maaswerken project presents. The conceptual framework builds upon the well-known model of Pressure-State-Impact-Response (PSIR) by explicitly framing the response as the outcome of a planning process amongst so-called 'stakeholder agents'. The stakeholder agents represent real-life stakeholders on the basis of a simple agent architecture of goals and beliefs, where the latter are related to their interpretation of the various uncertainties surrounding river management. The river management process is interpreted as a process of social learning. In this process, stakeholder agents are assumed to adapt their goals and beliefs in response to perceived changes in the river system and/or the interaction with other stakeholder agents. Compromising, learning about the environment, and learning from agent interaction (including cooperation and the development of social norms) are introduced as key mechanism driving the social learning process.

The integrated analysis of the River Meuse in Limburg of Chapter 3 maps out the problems and possible solutions of river management. It describes its current state hydrology, its main river functions, and touches upon current problems of flooding, drought, and pollution. Focussing on the issue of flooding, three distinct problem perceptions are discussed: it is a problem of (increasing) discharge, of (decreasing) discharge capacity, or of (increasing) vulnerability for floods. These three problem perceptions are related to three corresponding river management strategies: upstream retention as a way to regulate discharge, river engineering as way to increase the discharge capacity, and river adaptation as a way to reduce vulnerability. For synthesis, the conceptual model of PSIR is applied to gain better insight in the relation between various developments over the longer term. Following this conceptual model, a first reflection is provided on the effectiveness and robustness of the various river management approaches discussed. The river widening approach of Maaswerken, for example, appears to be an effective way for increasing the discharge capacity during peak flows, but may possibly contribute to

Summary

spatial scarcity on the longer term, especially under ongoing spatial pressure and climate change.

Chapter 4 zooms in on the planning process of the Maaswerken project. A historical analysis is presented of its two sub-projects Grensmaas and Zandmaas/Maasroute, which – as it turns out – were strongly driven by unexpected events, changing insights, increasing stakeholder involvement, and financial constraints. A stakeholder analysis illustrates the ‘playing field’ of stakeholder perspectives in terms of goals and beliefs. A process analysis furthermore describes some examples of perspective change, and highlights stakeholder dynamics (in terms of conflict, cooperation and coalition forming) observed. Finally, a short analysis of the strategic long-term study Integral Exploration of the Meuse signals new goals (e.g. spatial quality), new perspectives (e.g. based on flood adaptation rather than flood protection) and additional stakeholder dynamics (e.g. conflict between the national government and regional parties) that may possibly play an role in the future management of the River Meuse. Overall, this chapter shows that the complex and dynamic nature of river management requires a flexible planning approach in which uncertainties and the possibility of changing boundary conditions are explicitly taken into account.

In Chapter 5, the focus shifts from qualitative analysis to quantitative modelling. The chapter describes the iRM: a simple modelling tool for the order of magnitude analysis of river management options and their impacts. In this model, a short river stretch is represented by a single river cross-section. It was applied to and tested for the Maaswerken/Grensmaas location of Borgharen. The model aims to be compatible with stakeholder perspectives, by including the most relevant impacts (flood risk, nature development, agriculture, excavation, hindrance and costs) and river engineering options (river widening, floodplain excavation, dike-building, and clay storage) as considered by the various stakeholders involved. Also, it addresses main uncertainties regarding, for example, climate change, nature development, flood damage, and project costs. Despite the inherent limitations of the cross-section approach, the model is calibrated and validated to form a realistic description of the river management issues of concern. Due to its transparent and interactive nature, the model is well-suited to reflect upon various trade-offs, uncertainties, and long term context developments in an integrated way. The model may be used on the strategic policy level to reflect on various river management approaches, in participatory settings to support communication amongst the stakeholders of river management, and as a scientific tool to advance the understanding of human-environment systems through application in combination with a participatory ABM approach.

Chapter 6 presents an Agent-Based Model representing a planning process among stakeholders of river management. The stakeholders are represented as computer agents whose support for a river management strategy is modelled on the basis of their goals and beliefs. Plausible policy outcomes are then derived as the river management strategy with maximum stakeholder support. For evaluating the different river management strategies, the ABM is coupled to the iRM that describes the impacts of river management, such as flood risk, nature development and costs. The model is applied to the case of the ongoing Dutch river management project ‘Grensmaas’. In this application, stakeholder support is analysed for three main river management strategies proposed over the last fifteen years (the so-called ‘Green for Gravel’ alternative of 1991, and the ‘Preferred Alternatives’ of 1998 and 2003). Consequently, these strategies are reconstructed to provide a first validation of the model. Finally, an assessment is made of changes in stakeholder support and policy outcomes, when stakeholders would change their goals, or would take climate change into account. We conclude that the main virtue of the

developed modelling framework lies in its application within participatory processes, to support stakeholders to reflect upon their goals and uncertainty interpretations in a social context.

Chapter 7 extends the scope of the modelling exercise towards modelling the development of water management on the long term. To this end, it presents a broader conceptualisation of the water management process, in which the dynamics of water management policy is explicitly related to the broader dynamics of water management culture and autonomous responses. Focussing on the case study of the Ebro River Basin in Spain, the approach is to develop an interactive computer game. In the game, the water system is modelled using spatially-explicit integrated assessment models, and water management is represented as the dynamic outcome of interactions between water culture, water policy and autonomous actor behaviour. The purpose of the game is to explore future pathways of water management in the Ebro River Basin in Spain, and contribute to a social learning process amongst the players involved. The chapter focuses on the concept of the game, but the conceptual approach has already been translated into a game format, which has been tested and shows promise.

Chapter 8 synthesises the results and presents the main conclusions. It is to a large extent possible to represent the complex dynamics of river management through a participatory IAM-ABM approach. In particular, the model application in retrospect - reconstructing the Maaswerken project - shows that the main features of historical river management strategies are adequately represented with the model proposed. The model application to assess long-term development of river management is as yet lesser developed, since it does not include formal 'goal update' and 'river model update' rules by which goals and beliefs may plausibly change. Nonetheless, the model provides an adequate tool for 'what-if' analysis to assess, for example, possible future tensions between different goals under pressure of future developments like climate change. An important added value of the approach is to support social learning amongst stakeholders of river management, as reflected in the model's acronym Toddler. The Toddler model can provide a forum to share relevant knowledge about the river system, to clarify and evaluate stakeholder perspectives, to reflect on uncertainty, and to assess the trade-offs between stakeholder interests in a more transparent way. Given its pioneering character and broad scope, the study identifies various directions for future research to further develop the participatory IAM-ABM approach. In short, these include further participatory model applications, on the one hand to better assess the future development of river management, and on the other to test the value of the model as a social learning tool. Notably, the gaming concept developed in Chapter 7 shows promise for modelling long term development of water management (including the dynamics of the water management culture) in a meaningful way.

Overall, the study shows that the complex and dynamic nature of river management requires a more reflexive planning approach. In such a 'learning-by-doing' approach, the continuous reflection on goals and beliefs is equally (or even more) important as the detailed assessment of river management strategies to fulfil given goals under given beliefs. To support such a reflexive planning process, the Toddler model can help as a **Tool to Open-up Dialogue and Debate for Long-term Effective River management**.

Samenvatting

Voor een beter begrip van een riviersysteem als geheel is een evenwichtige beschrijving noodzakelijk van enerzijds de fysieke dynamiek van processen in en om de rivier, en anderzijds de sociale dynamiek van de besluitvormingsprocessen rondom rivierbeheer. Om zo'n beschrijving te geven wordt in dit proefschrift de (innovatieve) aanpak van participatieve Agent-Based modellering in het kader van Integrated Assessment modellering gehanteerd. De aanpak wordt toegepast op het project 'De Maaswerken'. Dit project is een typisch voorbeeld van een complex duurzaamheidsprobleem, gekenmerkt door grote belangen en onzekerheden. Voor een beschrijving van dit project werd een geïntegreerd Rivier Model (iRM) ontwikkeld om de effecten te berekenen van verschillende strategieën voor rivierbeheer. Dit werd vervolgens gekoppeld aan een Agent-Based Model (ABM) dat het collectieve besluitvormingsproces van de belanghebbenden van de Maaswerken beschrijft. De concrete doelstellingen van deze modelstudie waren het analyseren van het historische verloop van het planproces van de Maaswerken op de middellange termijn, het verwerven van inzicht in de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van het beheer van de Maas in Limburg op de lange termijn, en te voorzien in een instrument om de dialoog tussen belanghebbenden van rivierbeheer te ondersteunen. Het gekoppelde iRM-ABM is daarom Toddler model genoemd: **T**ool voor het **O**ndersteunen van **D**ialoog en **D**ebat voor **L**ange-termijn **E**ffectief **R**ivierbeheer.

Hoofdstuk 2 beschrijft de methodologische bouwstenen waarop dit onderzoek is gebaseerd, en ontwikkelt een conceptueel raamwerk als basis voor de verdere modellering. Het omschrijft kort het veld van Integrated Assessment modellering (IAM), en benadrukt de huidige methodologische uitdaging van een betere representatie van het gedrag van belanghebbenden in geïntegreerde modellen. Het bespreekt vervolgens Agent-Based modellering (ABM) als een veelbelovende benadering om deze uitdaging mee aan te gaan. Voortbouwend op inzichten uit IAM en ABM, wordt een conceptueel raamwerk ontwikkeld waarmee het complexe duurzaamheidsprobleem van het Maaswerkenproject wordt gepositioneerd in de context van het riviersysteem als geheel. Het conceptuele kader bouwt voort op het bekende model van Pressure-State-Impact-Response (PSIR). De Response wordt verder uitgewerkt door deze expliciet te omschrijven als de uitkomst van een collectief planproces tussen zogenaamde 'stakeholder agents'. De stakeholder agents representeren de belanghebbenden van Maaswerken (de 'actoren') door middel van een eenvoudig agentenmodel dat de doelen en overtuigingen van de belanghebbenden m.b.t. het riviersysteem (samen hun 'perspectief') omschrijft. Verschil in overtuiging wordt hierbij gezien als een verschillende interpretatie van de onzekerheden rondom rivierbeheer. Het planproces, vervolgens, wordt geïnterpreteerd als een proces van sociaal leren. Hierbij wordt aangenomen dat de stakeholder agents hun perspectieven continu aanpassen naar aanleiding van veranderde inzichten in het riviersysteem en / of hun interacties met andere stakeholder agents. Compromisvorming, coöperatie, conflict, coalitievorming en de ontwikkeling van sociale normen worden als belangrijke mechanismen van het sociaal leerproces geïdentificeerd.

De geïntegreerde analyse van de Maas in Limburg van Hoofdstuk 3 brengt de problemen en mogelijke oplossingsrichtingen van rivierbeheer in kaart. Het beschrijft de hydrologie, de belangrijkste rivierfuncties, en de huidige problematiek van overstromingen, droogte en vervuiling. Ten aanzien van de overstromingsproblematiek, worden drie verschillende probleempercepties besproken: het is een probleem van (toenemende) afvoer, van (afnemende) afvoercapaciteit, of van (toenemende) kwetsbaarheid voor overstromingen. Deze drie probleempercepties worden gerelateerd aan drie mogelijke oplossingsrichtingen: het vergroten

van bovenstroomse retentie voor een betere regulering van afvoer, het aanpassen *van* de rivier voor het vergroten van de afvoercapaciteit, en het aanpassen *aan* de rivier om de kwetsbaarheid te verminderen. Als synthese worden de verschillende probleempercepties gezien vanuit het conceptuele model van PSIR. Aan de hand van dit model, worden vervolgens de effectiviteit en de robuustheid van de verschillende oplossingsrichtingen kwalitatief besproken. De oplossingsrichting van rivierverruiming, bijvoorbeeld, lijkt een effectieve manier voor het accommoderen van piekafvoeren door het vergroten van de afvoercapaciteit. Zij lijkt echter minder robuust, omdat ze bijdraagt aan de ruimtelijke druk, wat vooral onder een toenemende maatschappelijke ruimtebeoefte en klimaatverandering tot toekomstige problemen zou kunnen leiden.

Hoofdstuk 4 zoomt in op het planproces van het Maaswerkenproject. Een historische analyse van de twee subprojecten Grensmaas en Zandmaas/Maasroute beschrijft in grote lijnen hoe het verloop van het project is beïnvloed door onverwachte gebeurtenissen, veranderende inzichten, de toenemende betrokkenheid van belanghebbenden, en financiële beperkingen. Een stakeholderanalyse laat vervolgens in meer detail het 'speelveld' van belanghebbenden zien: hun invloed, doelen, overtuigingen, en voorkeuren voor verschillende typen maatregelen. Een procesanalyse beschrijft vervolgens de dynamiek van het planproces, en geeft voorbeelden van perspectiefverandering als gevolg van veranderende inzichten in het riviersysteem, en interacties tussen actoren zoals conflict, coöperatie en coalitievorming. Een korte analyse van de strategische langetermijnstudie Integrale Verkenningen Maas, ten slotte, signaleert nieuwe doelen (bijvoorbeeld ruimtelijke kwaliteit), nieuwe actorinteracties (bijvoorbeeld conflict tussen de nationale overheid en regionale partijen), en geheel nieuwe perspectieven (bijvoorbeeld rivieradaptatie in plaats van rivierverruiming) die mogelijk een rol gaan spelen in het toekomstige beheer van de Maas. Al met al laat dit hoofdstuk vooral zien dat het rivierbeheer inherent complex en dynamisch is, zodat een flexibele benadering is vereist.

In hoofdstuk 5 verschuift de aandacht van kwalitatieve analyse naar kwantitatieve modellering. Het hoofdstuk beschrijft het iRM: een eenvoudige 'tool' waarmee de orde van grootte van de effecten van verschillende maatregelen voor rivierbeheer geanalyseerd kan worden. In dit model wordt een korte rivierlengte gerepresenteerd door een enkele dwarsdoorsnede. Het werd toegepast en getest op de Maaswerken/Grensmaas locatie van Borgharen. Het model sluit aan bij de perspectieven van de verschillende belanghebbenden, zoals onderzocht in Hoofdstuk 4. Hiertoe zijn de meest relevante doelstellingen (overstromingsrisico, natuurontwikkeling, landbouw, grindwinning, hinder en kosten) en maatregelen (rivierverruiming, aanleg kades, kleiberging) opgenomen in het model. Ook kunnen gebruikers verschillende interpretaties van onzekerheid invoeren, bijvoorbeeld m.b.t. klimaatverandering, natuurontwikkeling, overstromingsschade en kosten. Ondanks enkele inherente beperkingen van het dwarsdoorsnedemodel, geeft het na calibratie en validatie een realistische, kwantitatieve beschrijving van de rivier. Dankzij haar transparante en interactieve karakter, is het model vooral geschikt om de 'trade-offs' tussen doelstellingen, de rol van onzekerheden, en de effecten van contextontwikkelingen in samenhang te beschrijven. Het model kan op verschillende manieren gebruikt worden: op strategisch beleidsniveau om verschillende oplossingsrichtingen te evalueren, in participatieve settings om de communicatie tussen belanghebbenden te ondersteunen, en als wetenschappelijk instrument voor het analyseren van mens-milieu systemen via de combinatie met de participatieve ABM aanpak.

Hoofdstuk 6 presenteert vervolgens het ABM dat het planproces tussen de belanghebbenden van rivierbeheer beschrijft. De belanghebbenden worden gemodelleerd als computeragenten (de 'stakeholder agents'). Hun voorkeur voor een strategie voor rivierbeheer (een set

maatregelen) wordt berekend op basis van de hun toegekende doelen en overtuigingen. De uitkomst van het planproces wordt vervolgens bepaald als de strategie met een maximaal draagvlak onder de stakeholder agents. Voor de evaluatie van de strategieën, is het ABM gekoppeld aan het iRM omschreven in Hoofdstuk 5. Het gekoppelde iRM-ABM wordt toegepast voor het Maaswerken subproject Grensmaas. In deze toepassing wordt het draagvlak onder de belanghebbenden geanalyseerd, voor drie verschillende strategieën die gedurende de afgelopen 15 jaar zijn voorgesteld (het zogenaamde 'Groen voor Grind' alternatief van 1991, en de 'Voorkeursalternatieven' van 1998 en 2003). Vervolgens worden deze strategieën gereconstrueerd als eerste validatie van het model. Ten slotte is beoordeeld hoe het draagvlak onder belanghebbenden, en daarmee de uitkomst van het planproces, zou kunnen veranderen bij veranderende doelstellingen, of wanneer men expliciet met klimaatveranderingen rekening zou gaan houden. Het iRM-ABM lijkt vooral geschikt als instrument voor het reflecteren op (de implicaties van) aangehangen doelstellingen en overtuigingen in een participatief proces met belanghebbenden.

In Hoofdstuk 7 wordt de benadering verder uitgewerkt voor het modelleren van de ontwikkeling van het waterbeheer op de lange termijn. Om deze langetermijndynamiek te begrijpen is het noodzakelijk de dynamiek van het waterbeheer *an sich* in samenhang te zien met de verandering van de meer fundamentele uitgangspunten en aannamen m.b.t. het omgaan met water in de maatschappij. Aan de hand van de droogteproblematiek rondom het stroomgebied van de Ebro in Spanje wordt het conceptuele model van Hoofdstuk 2 daartoe uitgebreid. Hierbij wordt de dynamiek van het waterbeleid gepositioneerd binnen de bredere dynamische maatschappelijke context van een zogenaamde 'watercultuur' en 'autonome respons'. Het conceptuele model wordt geïmplementeerd in de vorm van een interactief computerspel. In het spel wordt het watersysteem gemodelleerd met behulp van een ruimtelijk IAM, worden computeragenten gebruikt voor het modelleren van de autonome response, en is de verandering van waterbeleid en watercultuur inzet van het spel zelf. De implementatie van het spel en de benodigde tools zijn nog volop in ontwikkeling. Niettemin is de conceptuele benadering reeds vertaald naar een concrete spelopzet, dat bij een eerste test positief werd geëvalueerd.

Hoofdstuk 8 vat de belangrijkste resultaten en conclusies samen. Het proefschrift laat zien dat het mogelijk is de complexe dynamiek van rivierbeheer te modelleren met een aanpak gebaseerd op participatieve IAM-ABM. Vooral de modeltoepassing in retrospect laat zien dat de belangrijkste kenmerken van de historische strategieën van de Maaswerken adequaat kunnen worden gereconstrueerd. Het kwantitatief modelleren van de ontwikkeling van het rivierbeheer op de lange termijn is nog onderontwikkeld; er zijn nog geen formele regels geformuleerd op basis waarvan de stakeholder agents hun doelstellingen en overtuigingen in de toekomst mogelijk aan zullen passen. Desondanks is het model geschikt voor een 'what-if' analyse, bijvoorbeeld om te beoordelen wat de consequenties zijn van veranderende doelstellingen voor de rivierbeheerstrategie, en wat de gevolgen zijn van klimaatverandering voor de mate waarin doelstellingen kunnen worden gehaald. Een belangrijke meerwaarde van de participatieve IAM-ABM aanpak lijkt het ondersteunen van een proces van sociaal leren onder de belanghebbenden van rivierbeheer. Dit wordt uitgedrukt in het model acroniem Toddler. Het Toddler model kan fungeren als een forum voor het delen van kennis over het riviersysteem, het communiceren en kritisch evalueren van de verschillende perspectieven, het reflecteren op onzekerheid, en het afwegen van de verschillende belangen op een transparante manier. Gezien het innovatieve karakter en brede toepassingsgebied van deze studie, worden verschillende aanbevelingen voor vervolgonderzoek gepresenteerd. Vooral verdere participatieve modeltoepassing wordt aanbevolen: enerzijds voor de inhoudelijke analyse van mogelijke toekomstige ontwikkelingen

van het rivierbeheer (het 'modelleren'), en anderzijds voor het testen van de waarde van het model voor het ondersteunen van sociaal leren (het 'leren'). Het verder uitwerken en implementeren van het spelconcept van Hoofdstuk 7 binnen het kader van participatieve scenario-ontwikkeling wordt hierbij als een interessante onderzoeksrichting gezien.

Al met al laat dit onderzoek zien dat het complexe en dynamische karakter van rivierbeheer een reflexieve planbenadering vereist. In een dergelijke 'learning-by-doing' aanpak is de voortdurende reflectie op doelen en overtuigingen van even groot (of zelfs groter) belang als de gedetailleerde effectanalyse van rivierbeheerstrategieën, gegeven de doelstellingen en overtuigingen van dat moment. Voor het ondersteunen van een dergelijk reflexief planproces, kan het Toddler model uitkomst bieden als een **Tool** voor het **Ondersteunen van Dialoog en Debat** voor **Lange-termijn Effectief Rivierbeheer**.